

## 경주 중저준위폐기물 처분부지 시추코아에서 관찰되는 단열충전광물

김건영, 박경우, 고용권, 최종원, 이은용\*

한국원자력연구원, 방사성폐기물기술개발부, 대전광역시 유성구 덕진동 150

\*한국방사성폐기물관리공단, 방폐물기술개발센터 대전광역시 유성구 덕진동 150

kingv@kaeri.re.kr

### 1. 서론

2005년 12월 경주지역이 중저준위 방사성폐기물 처분장으로 최종 결정되어 건설 인허가 단계를 거쳐 현재 경주 월성지역에 중저준위 방사성폐기물 처분장이 건설중에 있다. 처분장으로부터 방사성 핵종의 유출은 지하수의 유동에 기인하며, 유출된 핵종의 거동은 핵종을 운반하는 지하수의 화학성분과 지하수와 접촉하는 암석, 광물 등의 지하매질의 지구화학적 특성에 좌우된다. 따라서 처분장의 안전성 평가를 위해서는 수리지화학적 특성 규명이 우선되어야 하며, 지하수와 접촉하는 모암 및 단열충전광물의 특성 규명이 필수적으로 요구된다. 특히 화강암반에서 지하수는 단열을 따라 유동하며, 이런 지하수 유동으로는 화강암을 구성하는 1차 광물과는 다른 물-암석 반응에 의한 2차 광물이 분포하며, 이와 같은 2차 광물의 특성은 핵종의 흡착특성 평가에 중요한 자료로 활용된다. 본 연구는 경주 월성지역의 중저준위 처분장 부지특성조사의 일부로 수행된 내용으로서, 처분부지의 암석, 광물에 대한 지구화학적 특성 및 지구화학적 특성평가에 필요한 기초자료를 제공하고, 처분부지 내 물-암석반응 및 지화학 모델링의 자료를 제공하기 위하여 수행된 연구 결과이다.

### 2. 본론

처분부지의 모암은 화강암류로서 화강섬록암 및 섬록암으로 산출되며 조사지역 전체에 걸쳐서 파쇄대가 발달하여 있고 이 파쇄대를 따라 변질정도가 매우 다양하게 나타난다. 시추코아에서도 거의 전 심도에 걸쳐서 파쇄대가 발달하여 있고 이를 중심으로 단열충전광물들이 생성되어 있다. 이들은 경우에 따라 점토질 물질로 채워진 단층비지형태를 보여주기도 한다. 파쇄대가 발달하여 있지 않더라도 미세한 세맥 형태로 단열충전광물들이 생성되어 있다. 이러한 부분들은 대부분 장석광물들이 쌍정이나 벽개를 따라 견운모화 되어있거나 심한 경우에는 거의 모든 장석류들이 변질되어 있는 것을 쉽게 관찰할 수 있으며, 흑운모가 있을 경우에는 대부분 녹니석화 되어 있다. 분석을 위한 시료채취는 주로 KB-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16-2 공의 시추코아에서 채취하였으며 (Fig. 1), 채취된 단열광물 시료에 대하여 편광현미경 관찰 및 X선 회절분석(XRD)을 통한 광물감정과 전자현미분석(EPMA)을 이용한 광물의 화학분석과 주사전자현미경관찰(SEM) 등을 수행하였다.

시추코아에서 확인된 단열광물은 몬모릴로나이트, 제올라이트광물(로먼타이트, 스텔레라이트, 홀란다이트), 녹니석, 일라이트, 방해석 등이며 단일 광물로 산출되는 경우가 매우 드물고 여러 점토광물의 집합체로 주로 산출된다. 이밖에 특징적으로 황철석이 적은 양이지만 산점상으로 광범위하게 분포하고 있으며 매우 드물게 국지적으로는 수 mm 두께의 맥상에 이르기까지도 한다. 제올라이트 광물인 로먼타이트나 스텔레라이트는 산출량은 적으나 산출빈도가 매우 높고, 세맥 형태나 코팅형태로서 처분부지 내 단열구간에 광범위하게 산재한다. 녹니석은 시추코아 전반에서 관찰되는 단열구간에서 단열면에 얇은 코팅형태로 주로 산출된다. 단열대 구간에서는 천부와 심부구간의 구별없이 장석들이 부분적으로 견운모화되어 있는 양상을 관찰할 수 있다. 이러한 부분들은 대부분 일라이트로 감정되었으며, 단열면에 코팅되어 있는 일라이트는 흔히 녹니석과 함께 공존하는 것으로 감정되었다. 점토질의 단층비지형태를 보여 주며 일부 각력을 포함하는 파쇄대 구간의 구성광물은 대부분 몬모릴로나이트와 일부 일라이트 및 녹니석의 혼합체로 감정되었다. 일반적으로 열수변질광물로 알려져 있는 황철석과 로먼타이트가 매우 광범위하게 분포하는 것으로 보아 조사지역 전반에 걸쳐 광범위한 광화작용 혹은 열수변질작용이 있었음을 지시한다. SEM관찰결과 (Fig. 2), 몬모릴로나이트는 대부분 전형적인 벌집모양의 외형을 보여주며, 경우에 따라서는 일라이트나 장석입자의 외곽부에 불규칙한 결정형으로 산출되어 이들이 운모류나 장석의 변질산물임을 지시한다. 제올라이트 중 로먼타이트는 특징적인 주상의 집합체 결정형을 보여준다. 로먼타이트에 비해 매우 드물게 산출되기는 하지만 스텔레라이트 역시 불규칙한 주상으로 산출된다. 녹니석은 불규칙한 육각판상의 집합체로 주로 산출되며 일라이트 역시 판상의 집합체로 산출되나 결정도는 매

우 낮고 결정형도 전형적인 육각판상형을 보여주지 않는다. 단일층전광물 중 몬모릴로나이트와 제올라이트 광물은 높은 양이온교환능을 갖고 있고 조사지역 전반에 걸쳐 광범위하게 산출되기 때문에 처분부지의 장기 안전성 측면에서 매우 중요하게 다루어져야 할 광물이다. 또한 황철석 역시 지하수의 산화-환원 반응에 직접적으로 관계될 뿐 아니라 pH 조건도 변화시키기 때문에 중요하며, 이들이 지하수와 반응하여 산화되면 지하수의 pH는 낮아지고 지하수에 용존된 Fe는 주변 환경의 변화에 따라 다시 산화철의 형태로 침전될 수 있다. 이와 관련하여 단일대 내의 황철석에 대한 황동위원소 분석결과는 이들이 열수변질작용에 의해 형성되었음을 지지하며 단일층전광물들의 산소 및 수소 안정동위원소 분석결과 역시 이들이 마그마 기원임을 지지한다. 따라서 처분부지 내 단일층전광물들은 단일대를 따르는 지하수와 의 단순한 물-암석 반응 이외에 광범위한 마그마 기원의 열수작용에 의한 영향을 받은 것으로 판단된다.

3. 결론

조사지역 전체에 걸쳐서 과쇄대가 발달하여 있고 이 과쇄대를 따라 변질정도가 매우 다양하게 나타난다. 시추코아에서 확인된 단일광물은 몬모릴로나이트, 제올라이트광물(로먼타이트, 스텔라이트, 홀란다이트), 녹니석, 일라이트, 방해석, 황철석 등이다. 일반적으로 열수변질광물로 알려져 있는 황철석과 로먼타이트의 광범위한 분포특성과 단일대 내 황철석의 황 안정동위원소분석과 단일층전광물들의 산소 및 수소 안정동위원소 분석결과는 조사지역 전반에 걸쳐 광범위한 광화작용 혹은 열수변질작용이 있었음을 지지한다.

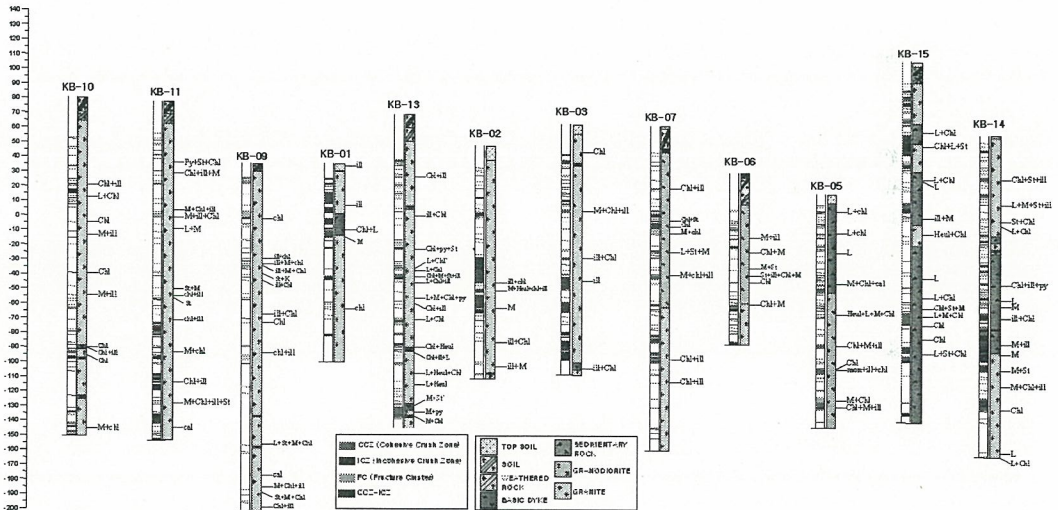
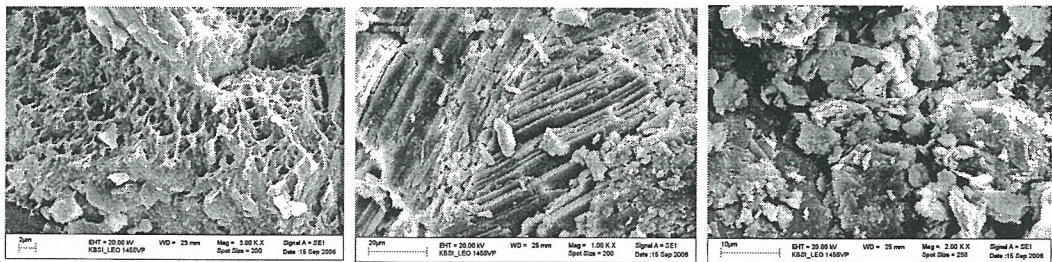


Fig. 1. Distribution of fracture-filling minerals identified by XRD in the study area (ill: illite, chl: chlorite, L: laumontite, St: stellerite, Heul: heulandite, M: montmorillonite, cal: calcite, py: pyrite)



KB-13-162m, Montmorillonite

KB-13-106.7m, Laumontite

KB-9-129.3m, Chlorite

Fig. 2. SEM images of the representative fracture-filling minerals